

FN- DIALOG(R)File 347-JAPIO|

CZ- (c) 2001 JPO & JAPIO. All rts. reserv.]

TI- MULTIPLEX QUANTUM WELL STRUCTURE SEMICONDUCTOR LIGHT- EMITTING ELEMENT

PN- 2000-208875 -JP 2000208875 A-

PD- July 28, 2000 (20000728)

AU- DOUMEN MEGUMI

PA- FUJITSU LTD

AN- 11-007156 -JP 997156-

AN- 11-007156 -JP 997156-

AD- January 14, 1999 (19990114)

H01S-005/343; H01L-033/00

AB- **PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve hole implantation efficiency and evenness in hole distribution by allowing a p-type impurity concentration of a barrier layer constituting a multiplex quantum well active layer to be a specific value or above. **SOLUTION:** The impurity concentration of a barrier layer 3 constituting a multiplex quantum well(MQW) active layer 1 is doped with such a high concentration as  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  or above that a carrier concentration saturates. Thus, carrier's implantation efficiency is improved with a transmission mechanism which is different from a conventional one, eliminating uneven implantation of carrier. A p-type optical guide layer 4 is allowed to be such a heavily doped layer as  $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  or above so that hopping transmission or tunneling transmission takes place even at the p-type optical guide layer 4, and a notch which is an electric-potential barrier to a hole is hopping- transmitted or tunnel-transmitted through an impurity level so that a hole is efficiently implanted. COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2000-208875

(P 2000-208875A)

(43) 公開日 平成12年7月28日 (2000. 7. 28)

(51) Int. Cl. 7

識別記号

H01S 5/343

// H01L 33/00

F I

H01S 3/18

H01L 33/00

6 7 7

テラワード (参考)

5F041

C 5F073

審査請求 未請求 請求項の数 5

O L

(全10頁)

(21) 出願番号 特願平11-7156

(71) 出願人 00005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区小田中4丁目1番1号

(22) 出願日 平成11年1月14日 (1999. 1. 14)

(72) 発明者 堂光 恵

神奈川県川崎市中原区小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100072833

介理七 柏谷 昭司 (外2名)

ドターム (参考) 5F041 AA03 CA04 CA05 CA33 CA34

CA40 CA65 FP16

5F073 AA45 AA51 AA74 BA06 CA07

CB04 CB19 DA05 EA23

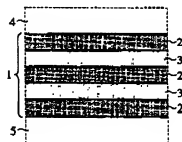
(54) 【発明の名称】 多重量子井戸構造半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 多重量子井戸構造半導体発光素子に關し、多重量子井戸活性層の結晶性に影響を与えることなく、ホール注入効率が及び多重量子井戸活性層中におけるホールの分布の均一性を改善する。

【解決手段】 ナイトライド系化合物半導体を用いた多重量子井戸構造半導体発光素子の多重量子井戸活性層1を構成する障壁層3のp型不純物濃度を、 $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とする。

本発明の原理的構成の説明図



- 1: 多重量子井戸活性層
- 2: 井戸層
- 3: 障壁層
- 4: p型光ガイド層
- 5: n型光ガイド層

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 多重量子井戸活性層を構成する隔壁層のp型不純物濃度を、 $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上とすることを特徴とするナイトライド系化合物半導体を用いた多重量子井戸構造半導体発光素子。

【請求項2】 多重量子井戸活性層のp型に設けるp側光ガイド層の少なくとも一部のp型不純物濃度を、 $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上とすることを特徴とするナイトライド系化合物半導体を用いた多重量子井戸構造半導体発光素子。

【請求項3】 上記多重量子井戸活性層を構成する井戸層を、アンドープ層とすることを特徴とする請求項1または2に記載の多重量子井戸構造半導体発光素子。

【請求項4】 上記多重量子井戸活性層と上記p側光ガイド層との間にp型エレクトロニックブロック層を設けるとともに、p型エレクトロニックブロック層のp型不純物濃度を、 $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上とすることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の多重量子井戸構造半導体発光素子。

【請求項5】 上記p型不純物として、Mgを用いたことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の多重量子井戸構造半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は多重量子井戸構造半導体発光素子に関するものであり、特に、ナイトライド系化合物半導体からなる短波長半導体レーザにおける正孔の不均一注入を改善するための多重量子井戸構造及びその近傍層の不純物濃度に特徴がある多重量子井戸構造半導体発光素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、短波長半導体レーザは、光ディスクやVCD等の光源として用いられているが、光ディスクの記録密度はレーザ光の波長の $\lambda$ に反比例するため、より短い波長の半導体レーザが要求されており、現在商品化されている最短波長の半導体レーザは630～650nm近傍に波長を有する赤色半導体レーザであり、一昨年発売されたVCDに用いられている。

【0003】 しかし、より記録密度を高めるためにはさらなる短波長化が必要であり、例えば、光ディスクに動向を2時間記録するためには波長が400nm近辺の青色半導体レーザが不可欠となり、そのため、近年では次世代光ディスク用光源として、青色領域に波長を有する短波長半導体レーザの開発が盛んになされている。

【0004】 この様な青色半導体レーザ用材料としては、GaN系化合物半導体が注目されており、特に、1993年末の日産化学によるGaN高輝度LEDの発表を境に、ZnS系でネックになっていた信頼性に関して耐環境性に優れるGaNが見直され、世界中で研究者の大きな増加を見ている。

【0005】 次いで、1995年12月初めには、同じく日産化学によりバルスレーザ発振の成功が報告されて以来、急速に研究が進み、現在、室温連続発振(CW発振)において、7000時間の発振持続時間が報告されている。

【0006】 この様な従来の短波長半導体レーザは、例えば、(0001)面を主面とするサファイア基板上に、低価GaNバッファ層を介して、n型GaNバッファ層、n型In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層、n型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層、n型GaN光ガイド層、InGaN MQW活性層、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層、p型GaN光ガイド層、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層、及び、p型GaNコンタクト層をMOVPE法(有機金属気相成長法)によって順次エピタキシャル成長させたのち、ドライ・エッチングによりn型GaNバッファ層の一部を露出させて、Ti/Auからなるn側電極を設けると共に、p型GaNコンタクト層上にはNi/Auからなるp側電極を設け、次いで、ドライ・エッチングを施して共振器面となる一対の平行な端面を形成するものであり、この様な構成によってバルスレーザ発振に成功している(必要ならば、S. Nakamura et al., Japanese Journal of Applied Physics, vol. 35, p. 174, 1996参照)。

【0007】 しかし、この様なサファイア基板を用いたMQW構造短波長半導体レーザの場合、しきい電流密度 $J_{th}$ が3、6kA/cm<sup>2</sup>程度と、非常に大きいという問題があり、これは基板のサファイアに閉閉性がないことが一因となる。

【0008】 そこで、本出願人等は、基板として閉閉性を有し、且つ、結晶構造が似ているSiC基板を用いてナイトライド系MQW構造半導体レーザを構成することによってレーザ発振に成功しているので、ここで、図4を参照して、この様な従来のMQW半導体レーザを説明する。なお、図4(a)は、本出願人による従来のMQW半導体レーザの概略的な斜視図であり、また、図4(b)は図4(a)において破線の内て示すMQW活性層近傍層の層構造を模式的に示す拡大図である。

図4(a)参照

まず、(0001)面、即ち、c面を上面とする六角形の6H-SiCからなるn型SiC基板31に、有機金属気相成長法(MOVPE法)を用いて、n型AlGaNバッファ層32、n型GaN中間層33、n型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層34、アンドープGaN光ガイド層35、MQW活性層36、アンドープGaN光ガイド層39、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層40、及び、p型GaNコンタクト層41を順次成長させる。

【0009】 図4(b)参照

なお、この場合のMQW活性層36は、厚さが、例えば、3nmのアンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nバリア層3

8で分離された厚さが、例えば、4 nmのアンダー1 nm、 $\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{N}$ ウェル層37を、例えば、5層成長させて形成する。

【0010】次いで、n型SiC基板31の表面にはn側電極として厚さN1電極42を設けると共に、p型GaInコンタクト層41上にはp側電極として幅Wが3  $\mu\text{m}$ のN1電極43を設け、共振器長Lが700  $\mu\text{m}$ となるように素子分割することによってMQW半導体レーザが完成する。

【0011】しかし、この様にSiC基板を用いたMQW半導体レーザにおいても、依然としてしきい値電流密度 $J_{th}$ の高さは問題となる。それは、基板の誘電率の問題のほかに、GaIn系化合物半導体、即ち、ナイトライド系化合物半導体という材料が、光学利得を発生するためには、本質的に大きなキャリア密度を必要とするためである。

【0012】即ち、従来、実用化されている半導体レーザは、AlGaAs系やAlInGaAs系等の閃亜鉛鉱型結晶構造のIII-V族化合物半導体を用いているのに対して、ナイトライド系化合物半導体は、非常に大きな禁制帯幅を有する六方晶ウルツ鉱構造であり、閃亜鉛鉱型結晶材料とは全く異なった物性を有しているためである。

【0013】この様なナイトライド系化合物半導体の物性上の大きな特徴は、六方晶であり結晶に異方性が存在すること、禁制帯幅が大きく有効質量が大きいこと、スピン軌道相互作用が小さく、価電子帯に、HH (Heavy Hole)、LH (Light Hole)、及び、CHの3つのバンドが近接して存在することの3つが挙げられる。

【0014】この内、有効質量が大きいことが主な原因で、p側SCH (Separate Confinement Heterostructure) 層、即ち、p側光ガイド層から活性層へのホールの注入効率が非常に悪くなり、特に、活性層が多重電子井戸構造のMQW活性層である場合、ホールの注入効率の悪さは電子井戸層 (ウェル層) 間のホール密度の不均一を生み、レーザ発振を非効率にすることになるので、この事情を図5及び図6を参照して説明する。

【0015】図5参照  
図5は、MQW半導体レーザの発振時の素子膜厚方向のホール密度分布のシミュレーション結果を示す図であり、図から明らかなように、多重電子井戸活性層におけるホール密度がp側光ガイド層に近いほど大きく、不均一になっていることが理解される。

【0016】図6参照  
図6は、同じくMQW半導体レーザの発振時の素子膜厚方向の電子密度分布のシミュレーション結果を示す図であり、図から明らかなように、n側光ガイド層側から注入される多重電子井戸活性層における電子密度もp側光

ガイド層に向かうほど大きく不均一になっていることが理解され、これは上述のホール不均一注入が原因で、電荷中性条件を満たすために電子がホールに引き寄せられる結果である。

【0017】この様に、ホールと電子ともに同様の不均一が起きていることによって、多重電子井戸構造における光学利得の発生を著しく不均一にすることが予想されるので、この事情を図7を参照して説明する。

【0018】図7参照

図7は、上述のナイトライド系化合物半導体を用いたMQW半導体レーザの多重電子井戸中における光学利得分布の説明図であり、p型クラッド層側から第1番目の電子井戸においてはp型クラッド層からのホールの供給が多いため、大きな光学利得を有しているが、n型クラッド層側へ向かうにつれて光学利得は減少し、n型クラッド層側の2つの電子井戸においては光学利得を発生しないばかりか、光の損失が生じるといふ従来の閃亜鉛鉱型結晶構造の半導体を用いたレーザと異なる特性となる。

【0019】この様な光学利得の電子井戸層間の不均一による光吸収の発生は、二つの悪影響を発生することになり、第一は、光吸収層となっているn側の2つの電子井戸層においても、図5及び図6から明らかなようにキャリアが高密度に存在するため、発光再結合電流が大いことを意味し、p側の3つの電子井戸層がレーザ発振のしきい値フェルミレベルに達する電流をn側の2つの電子井戸層が増加させる結果となる。

【0020】第二に、n側の2つの電子井戸層が光吸収層であるために、レーザ発振するために克服すべき内部ロスが増加し、しきい値フェルミレベルそのものが上昇してしまうという悪影響が生ずることになる。

【0021】図8参照

図8は、多重電子井戸活性層における電子井戸層の数をえて実際に作製したMQW半導体レーザの出力-電流特性を示す図であり、この場合、全体の光閉じ込めを一定にするために膜厚を変化させているが、5層の電子井戸層からなる活性層を設けたMQW半導体レーザの方が3層の電子井戸層からなる活性層を設けたMQW半導体レーザの場合よりしきい値電流密度 $J_{th}$ が高く、且つ、レーザ発振後の効率も悪いことがわかる。

【0022】これは、半導体レーザの効率は内部量子効率と内部ロスで決定されるため、n側の2つの電子井戸層が光吸収層になっていることによって、内部量子効率及び内部ロスの両者が劣化していることが原因であると考えられ、したがって、ナイトライド系化合物半導体を用いたMQW半導体レーザの特性を改善するためには、しきい値電流密度 $J_{th}$ を低減させることが必要になるが、そのためには、上述のキャリアの不均一注入を改善することが有効となる。

【0023】そこで、本出願人は、AlGaInエレクトロニクス材料をp型不純物により高濃度ドーピングこ

によってキャリアのオーバーフローが効果的に抑制できることを実験的に見出している。この理由は必ずしも明らかではないが、エレクトロニック層の価電子帯側に深い不純物準位が高濃度に形成され、この不純物準位を介した不純物伝導(hopping conduction)によって、ホールが効率的に活性層に注入されるため、結果的にキャリアのオーバーフローが抑制されると考えられる(必要ならば、特願平10-215147号参照)。この様に、障壁となる層へのp型不純物の高濃度ドーピングによって、ホールの注入効率を改善することができると考えられる。

【0024】一般に、GaNのキャリア濃度は、600~900℃の比較的低温成長においては、不純物濃度が約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 近傍で最大の約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ になるにも拘わらず、 $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上、例えば、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ にすることによって、しきい値電流密度 $J_{th}$ が改善されているので、この場合の伝導機構は閃爍鉛鉛型結晶構造の従来材料とは全く異なったものであると考えられる。

【0025】即ち、GaNよりさらにドーピングが困難なAlGaNにおいては $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度のホール濃度しか得られていないが、上述のようにp型不純物を $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上に高濃度ドーピングを行うことによって、禁制帯中に多数のアクセプト型不純物準位を導入し、ホッピング伝導またはトンネリング伝導によってホールの伝導が容易になるものと考えられる。

【0026】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上述の様なエレクトロニック層を始めとするp側のAlGaN層の不純物濃度を高めるだけではホールの注入効率は改善されるものの、MQW活性層内におけるキャリアの不均一分布の改善は必ずしも十分ではなく、さらなる改善の余地があると考えられる。

【0027】そこで、検討するに、一般に、MQW半導体レーザにおけるキャリアの不均一注入を改善するためには、多重量子井戸構造におけるウエル層の膜厚を薄くすること、バリア層の厚さを薄くすること、及び、バリア層の高さを低く、即ち、禁制帯幅を小さくすることが有効であると考えられる。

【0028】この内、ウエル層の膜厚は、レーザの光学利得特性を大きく左右し、レーザ設計の最重要項目であるため、独立に変化させることは難しいという問題がある。また、ナイトライド系MQW青色半導体レーザにおいて、バリア層の禁制帯幅を小さくするということは、バリア層中の1n組成を増加することを意味することになるが、これは歪の増加をもたらす、結晶性が劣化することになるので好ましくない。

【0029】一方、バリア層の膜厚については、ナイトライド系化合物半導体を用いたMQW半導体レーザにおいては、上述のようにキャリアの有効質量が大きいた

め、量子井戸からの波動関数の漏み出しが少なく、且つ、バンド・ギャップの不均一性のため階段状の光学利得分布がもともと若干なまっているため、バリア層の膜厚を薄くすることが最善の手段であると考えられているが、InGaNバリア層を薄くすると、InGaN層の成長は下地依存性等があるため、InGaNバリア層成いはInGaNウエル層の膜厚の不均一化をもたらす、MQW活性層自体の結晶性を微妙に変化させる高がある。

【0030】なお、しきい値電流密度 $J_{th}$ を低下させるために、

①MQW活性層を構成するウエル層及びバリア層の少なくとも一方をn型不純物によって、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ にドーピングすること、或いは、

②ウエル層にZnを $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ にドーピングし、バリア層をノン・ドーピングにすること、或いは、

③ウエル層にSiを $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とZnを $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ にドーピングし、バリア層をノン・ドーピングにすることが提案されている(必要ならば、特開平10-12969号公報参照)。

【0031】しかし、上記の提案における①の構成の場合には、n型不純物を高濃度にドーピングしたものであるでホールの伝導及び分布に直接寄与するものではなく、凡つ、②~③の場合には、再結合発光の行われるウエル層を高不純物濃度に行っているため、再結合発光の行われるウエル層の結晶性の劣化が問題となり、さらに、上記提案においては、ホッピング伝導またはトンネリング伝導に関する認識は全くなく、仮に、Znの高濃度ドーピングによりホールのホッピング伝導またはトンネリング伝導が生じていたとしても、それは、ウエル層においてであり、ホールに対する電位障壁となるバリア層においてではないので、ホールの注入に関しては本質的には従来と同じ伝導機構であると考えられる。

【0032】したがって、本発明は、多重量子井戸活性層の結晶性に影響を与えることなく、ホールの注入効率及び多重量子井戸活性層中におけるホールの分布の均一性を改善することを目的とする。

【0033】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の原理的構成の説明図であり、この図1を参照して本発明における課題を解決するための手段を説明する。なお、図1は多重量子井戸活性層近傍の層構造を示す図であり、図における符号5はn側光ガイド層を表す。

図1参照

(1) 本発明は、ナイトライド系化合物半導体を用いた多重量子井戸構造半導体発光素子において、多重量子井戸活性層1を構成する障壁層3のp型不純物濃度を、 $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることを特徴とする。

【0034】この様に、多重量子井戸活性層1を構成す

る障壁3、即ち、バリア層のp型不純物濃度を $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることによって、多量電子井戸活性層1内におけるホールの移動を容易にすることができ、それによって、多量電子井戸活性層1内におけるホールの分布を均一にし、ひいては、電子の分布も均一にすることができる。なお、この場合の多量電子井戸活性層1内におけるホールの移動もホッピング伝導またはトンネル伝導であると考えられ、また、高濃度ドープ層は再結合発光が実効的に生じない障壁3であるので、高濃度ドープに伴う多量電子井戸活性層1の結晶性はあまり問題とならない。

【0035】(2) また、本発明は、ナイトライド系化合物半導体を用いた多量電子井戸構造半導体発光素子において、多量電子井戸活性層1のp側に設けるp側光ガイド層4の少なくとも一部のp型不純物濃度を、 $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることと特徴とする。

【0036】一般に、多量電子井戸活性層1とp側光ガイド層4との接合界面、p側光ガイド層4とp側エレクトロンブロック層との接合界面、或いは、p側光ガイド層4とp型クラッド層との接合界面には、電子親和力と禁制帯幅の差に起因するノッチが発生し、ホールの注入に対する電位障壁となるが、p側光ガイド層4、即ち、p側SCH層の少なくとも一部のp型不純物濃度を、 $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることによって、ホッピング伝導またはトンネリング伝導によってノッチの障壁を回避することが可能になる。

【0037】また、ナイトライド系化合物半導体においてはピエゾ効果が大きいため、各隣接する層との間の歪が圧縮歪/引張歪/圧縮歪/引張歪/・・・と交互に変わるため、歪の向きの違いによってピエゾ効果による内部電界が発生し、この内部電界がバンドの曲がり・傾きに影響を与え、それが電位障壁となってホールの注入にも影響を及ぼすと考えられるが、ホッピング伝導またはトンネリング伝導によってホールの移動が容易になる効果も期待できる。なお、この場合の「p側光ガイド層4の少なくとも一部」とは、p側光ガイド層4が得れば全体を高濃度ドーピングしても良いし、或いは、多量電子井戸活性層1側、または、p型クラッド層の一部を高濃度ドーピングしても良いし、或いは、多量電子井戸活性層1側またはp型クラッド層側がより高濃度になるようにグレーデッドにドーピングしても良いことを意味する。

【0038】(3) また、本発明は、上記(1)または(2)において、多量電子井戸活性層1を構成する井戸層2を、アンドープ層とすることと特徴とする。

【0039】この様に、再結合発光を生じる多量電子井戸活性層1を構成する井戸層2をアンドープ層としているので、井戸層2自体の結晶性が劣化することがなく、したがって、多量電子井戸活性層1全体の結晶性の劣化が問題となることはない。

【0040】(4) また、本発明は、上記(1)乃至(3)のいずれかにおいて、多量電子井戸活性層1とp側光ガイド層4との間にp型エレクトロンブロック層を設けるとともに、p型エレクトロンブロック層のp型不純物濃度を、 $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることと特徴とする。

【0041】この様に、多量電子井戸活性層1とp側光ガイド層4との間にp型エレクトロンブロック層を設けた場合、p型エレクトロンブロック層のp型不純物濃度を、 $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることによって、p型エレクトロンブロック層自体或いはp型エレクトロンブロック層の両側に発生するノッチはホールに対する電子障壁となっても、ホッピング伝導またはトンネリング伝導によってホールの移動が容易になる。

【0042】(5) また、本発明は、上記(1)乃至(4)のいずれかにおいて、p型不純物として、Mgを用いたことを特徴とする。

【0043】この様に、p型不純物としてMgを用いることによって、Mg濃度を $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上にすることによって、不純物単位によるホッピング伝導またはトンネリング伝導が可能になり、ホール濃度及びホールの注入効率を確実に向上することができる。

【0044】

【発明の実施の形態】 ここで、図2を参照して本発明の第1の実施の形態のMQW半導体レーザを説明する。なお、図2(a)は、本発明の第1の実施の形態のMQW半導体レーザの概略的な斜視図であり、また、図2(b)は図2(a)において破線の円で示すMQW活性層近傍の層構造を模式的に示す拡大図である。

図2(a)及び(b)参照

まず、(0001)面、即ち、c面を主面とする六方晶の6H-SiCからなるn型SiC基板11上に、TMGa(トリメチルガリウム)、TMA1(トリメチルアルミニウム)、アンモニア、ドーパントとしてSiH<sub>4</sub>、及び、キャリアガスとしての水素を成長ガスとして用いたMOVPE法によって、成長圧力を700~760 Torr、例えば、100 Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、950℃とした状態で、厚さ50~300 nm、例えば、50 nmのn型AlGaInバッファ層12を成長させる。

【0045】引き続き、TMGa、アンモニア、ドーパントとしてSiH<sub>4</sub>、及び、キャリアガスとして水素を用いて、成長圧力を700~760 Torr、例えば、100 Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、920℃とした状態で、厚さ0.1~2.0 μm、例えば、0.5 μmで、キャリア濃度が $5 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のn型GaIn中間層13を成長させる。

【0046】引き続き、TMA1、TMGa、アンモニア、ドーパントとしてSiH<sub>4</sub>、及び、キャリアガス

としての水素を用いて、成長圧力を70~760 Torr、例えば、100 Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、950℃とした状態で、厚さ0.1~2.0 μm、例えば、0.5 μmで、キャリア濃度が $1.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層14を成長させる。

【0047】引き続き、TMGa、アンモニア、及び、キャリアガスとしての水素を用いて、成長圧力を70~760 Torr、例えば、100 Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、930℃とした状態で、厚さ10~300 nm、例えば、100 nmのアンダーブレイク層15を成長させる。

【0048】引き続き、TMGa、TMIn（トリメチルインジウム）、アンモニア、及び、キャリアガスとしてのN<sub>2</sub>を用いて、成長圧力を70~760 Torr、例えば、100 Torrとし、成長温度を550~900℃、例えば、700℃とした状態で、厚さ1 nm~10 nm、例えば、5 nmのp<sup>+</sup>型In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nバリア層18で分離された厚さ3~10 nm、例えば、4 nmのアンダーブレイク層17を2~10層、例えば、3層成長させてMQW活性層16を形成する。

【0049】このMQW活性層16の成長に際しては、ビスクロベンタジエニルマグネシウムの供給を制御し、p<sup>+</sup>型In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nバリア層18の不純物濃度が $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上、例えば、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ となり、アンダーブレイク層17の成長に際しては、ビスクロベンタジエニルマグネシウムの供給を停止し、実効的にアンダーブレイク層17になるようにする必要がある。但し、アンダーブレイク層17には残留Mgが不可避的に若干取り込まれることになる。

【0050】引き続き、TMGa、アンモニア、ビスクロベンタジエニルマグネシウム、及び、キャリアガスとしてのN<sub>2</sub>を用いて、成長圧力を70~760 Torr、例えば、100 Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、1130℃とした状態で、厚さ10~300 nm、例えば、100 nmで、不純物濃度が $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上、例えば、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のp<sup>+</sup>型Ga<sub>0.5</sub>N光ガイド層19を成長させる。

【0051】引き続き、TMAI、TMGa、アンモニア、ビスクロベンタジエニルマグネシウム、及び、キャリアガスとしてのN<sub>2</sub>を用いて、成長圧力を70~760 Torr、例えば、100 Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、950℃とした状態で、厚さ0.1~2.0 μm、例えば、0.5 μmで、不純物濃度が $1.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $2.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のp型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層20を成長させる。

【0052】引き続き、TMGa、アンモニア、ビスクロベンタジエニルマグネシウム、及び、キャリアガスとしてのN<sub>2</sub>を用いて、成長圧力を70~760 Torr、例えば、100 Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、930℃とした状態で、厚さ0.1~2.0 μm、例えば、0.5 μmで、不純物濃度が $1.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のp型Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層21を成長させる。

【0053】次いで、n型SiC基板11の表面にはn側電極として厚さ100 nmのNi電極22を設けると共に、p型Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層21上にはp側電極として厚さ100 nm、幅Wが3 μmのNi電極23を設け、共振器長Lが700 μmとなるように素子分割することによってMQW半導体レーザが完成する。

【0054】この本発明の第1の実施の形態においては、MQW活性層16を構成するバリア層の不純物濃度を、従来常識に反してキャリア濃度が飽和する $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上に高濃度にドーピングすることによって、従来とは異なった伝導機構によりキャリアの注入効率が改善され、キャリアの不均一注入をなくすることが可能になると考えられる。

【0055】また、この第1の実施の形態においては、p側光ガイド層を $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高濃度ドーピングされているので、p側光ガイド層においてもホッピング伝導或いはトンネリング伝導が生じ、電子親和力と禁制帯幅の和の差によってMQW活性層16とp<sup>+</sup>型Ga<sub>0.5</sub>N光ガイド層19との界面に形成されるホールに対する電位障壁となるノッチを、不純物準位を介したホッピング伝導或いはトンネル伝導することによってホールの効率的に注入することが可能になり、注入効率が改善されることになる。

【0056】また、各隣接する層との間の歪が圧縮歪/引張歪/圧縮歪/引張歪/・・・と交互に変わるため、歪の向きの違いによってピエゾ効果による内部電界が発生することになるが、ナイトライド系化合物半導体においてはピエゾ効果が大きいため、内部電界が10<sup>4</sup> V/cm程度となり、これは、1 V/100 Åに相当するので、この内部電界がバンドの曲がり、傾きに影響を与え、それが電位障壁となってホールの注入にも影響を与えたと考えられるが、ホッピング伝導或いはトンネリング伝導によって内部電界に起因する電位障壁を越えてのホールの移動が容易になる効果も期待できる。

【0057】次に、図3を参照して、本発明の第2の実施の形態の形態を説明する。

#### 図3参照

図3は、本発明の第2の実施の形態のMQW半導体レーザの斜視図であり、上記の第1の実施の形態との違いは、MQW活性層16とp<sup>+</sup>型Ga<sub>0.5</sub>N光ガイド層19との間に高不純物濃度のエレクトロニクスブロック層を設けた



点だけであるので、詳細な説明は省略する。

【0058】まず、上記の第1の実施の形態と全く同様に、c面を主面とする六方晶の611-SiCからなるn型SiC基板11上に、n型AlGaInバッファ層12、n型GaIn中間層13、n型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層14、アンドープGaIn光ガイド層15、及び、MQW活性層16を順次堆積させる。

【0059】この場合のMQW活性層16も、バリア層を不純物濃度が $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上、例えば、 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ のp<sup>+</sup>型In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N層とし、ウエル層をアンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N層とし、ウエル層が2~10層、例えば、3層になるように交互に堆積させる。

【0060】引き続き、TMAI、TMGa、アンモニア、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム、及び、キャリアガスとしてのN<sub>2</sub>を用いて、成長圧力を70~760 Torr、例えば、100 Torrとし、成長温度を600~900℃、例えば、780℃とした状態で、厚さ5~30nm、例えば、20nmで、不純物濃度が $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上、例えば、 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ のp<sup>+</sup>型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nエレクトロンブロック層24を成長させる。

【0061】以降は、再び、上記の第1の実施の形態と全く同様に、p<sup>+</sup>型GaIn光ガイド層19、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層20、及び、p型GaInコンタクト層21を順次成長させたのち、n型SiC基板11の表面にはn側電極として厚さ100nmのNi電極22を設けると共に、p型GaInコンタクト層21上にはp側電極として厚さ100nm、幅Wが3μmのNi電極23を設け、共振層長Lが700μmとなるように光子分割することによってMQW半導体レーザが完成する。

【0062】この第2の実施の形態においては、MQW活性層16とp<sup>+</sup>型GaIn光ガイド層19との間に不純物濃度が $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上のp<sup>+</sup>型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nエレクトロンブロック層24を設けているので、単に電子のオーバーフローを低減するだけでなく、本来、ホールに対して電位障壁となるエレクトロンブロック層の価電子帯側の障壁をエレクトロンブロック層に形成した不純物電位を介したホッピング伝導或いはトンネル伝導によって通過することによってホールの注入効率を改善することができる。MQW活性層16のバリア層を高濃度ドーピングした効果と相まってホール分布の均一性を改善することができる。

【0063】以上、本発明の各実施の形態を説明してきたが、本発明は上記の各実施の形態の構成に限られるものではなく、各種の変更が可能である。例えば、各実施の形態においては、MQW活性層16のバリア層及びp側光ガイド層の双方をp型不純物であるMgによって $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上にドーピングしているが、どちらか一方

のみを高濃度ドーピングするだけでも良いものである。

【0064】また、上記の各実施の形態においては、p側光ガイド層の全体を $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上に均一にドーピングしているが、必ずしもp側光ガイド層の全体を均一ドーピングする必要はなく、特に、p側光ガイド層が厚い場合には、全体を高濃度のドーピングすると結晶性の劣化をもたらすことになるので、p側光ガイド層の少なくとも一部、特に、ホールに対する電位障壁となるノッチの形成されるMQW活性層16に接する側の2~50nmまたはp型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層20に接する側の2~50nm、例えば、20nmを $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上、例えば、 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ にドーピングするだけでも良い。

【0065】また、この様な部分的なドーピングはグレーデッドに変化するドーピングでも良いものであり、例えば、MQW活性層16に接する側を $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上、例えば、 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ とし、界面から離れるにしたがって高減し、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層20との界面で、 $1.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 、例えば、 $2.0 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ となるようにしても良いものである。

【0066】また、上記の各実施の形態の説明においては、MQW活性層16をn層のバリア層と(n+1)層のウエル層によって構成しているが、逆に、(n+1)層のバリア層とn層のウエル層によって構成しても良いものである。

【0067】また、上記の各実施の形態においては、多重量子井戸活性層としてIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>NからなるMQW構造を採用しているが、必要とする波長に応じて混晶をAl<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>1-x-y</sub>N (0 ≤ x < 1, 0 < y ≤ 1)の範囲内で変えても良いものであり、且つ、それに伴って、光ガイド層及びクラッド層の混晶比をAl<sub>1</sub>Ga<sub>0</sub>In<sub>1-0-0</sub>N (0 ≤ x ≤ 1, 0 ≤ y ≤ 1)の範囲内で変えても良い。

【0068】また、上記の各実施の形態においては、MQW半導体レーザとして説明しているが、半導体レーザに限られるものではなく、高輝度発光短波長発光ダイオード等の他の半導体発光素子も対象とするものである。

【0069】

【発明の効果】本発明によれば、ナイトライド化合物半導体からなる多重量子井戸構造半導体発光素子の多重量子井戸活性層を構成するバリア層或いはp側光ガイド層の少なくとも一方のp型不純物濃度を、従来常識に比して $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上としているので、従来と異なった伝導機構によってホールの不均一注入を改善し、光学利得の不均一な発生を改善することができるので、それによって、しきい値電流密度J<sub>th</sub>が低減され、低消費電力化が可能になり、また、信頼性が向上するので、光情報記録装置等の光源としてその高密度化に寄与することが大きい。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理構成の説明図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態のMQW半導体レーザの説明図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態のMQW半導体レーザの斜視図である。

【図4】従来のMQW半導体レーザの説明図である。

【図5】従来のMQW半導体レーザの発振時のホール密度分布の説明図である。

【図6】従来のMQW半導体レーザの発振時の電子密度分布の説明図である。

【図7】従来のMQW半導体レーザの多重量子井戸中の光学利得分布の説明図である。

【図8】従来のMQW半導体レーザの光出力-電流特性の説明図である。

## 【符号の説明】

- 1 多重量子井戸活性層
- 2 井戸層
- 3 障壁層
- 4 p側光ガイド層
- 5 n側光ガイド層
- 11 n型SiC基板
- 12 n型AlGaInバッファ層
- 13 n型GaIn中間層
- 14 n型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層

【図1】

本発明の原理構成の説明図

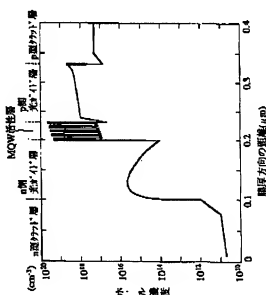


- 1: 多重量子井戸活性層
- 2: 井戸層
- 3: 障壁層
- 4: p側光ガイド層
- 5: n側光ガイド層

- 15 アンダーブGaN光ガイド層
- 16 MQW活性層
- 17 アンダーブIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nウエル層
- 18 p<sup>+</sup>型In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nバリア層
- 19 p<sup>+</sup>型GaN光ガイド層
- 20 p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層
- 21 p型GaNコンタクト層
- 22 Ni電極
- 23 Ni電極
- 24 p<sup>+</sup>型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nエレクトロンブロック層
- 31 n型SiC基板
- 32 n型AlGaInバッファ層
- 33 n型GaIn中間層
- 34 n型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層
- 35 アンダーブGaN光ガイド層
- 36 MQW活性層
- 37 アンダーブIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nウエル層
- 38 アンダーブIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nバリア層
- 39 アンダーブGaN光ガイド層
- 40 p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層
- 41 p型GaNコンタクト層
- 42 Ni電極
- 43 Ni電極

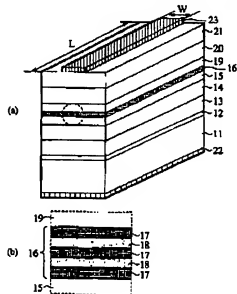
【図5】

従来のMQW半導体レーザの  
発振時のホール密度分布の説明図



【図2】

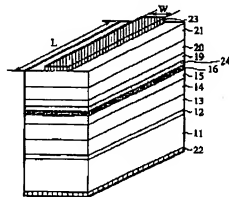
本発明の第1の実施の形態のMQW半導体レーザの説明図



- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 11: n型SiC基板                             | 18: p型InGaInGaAsN <sup>+</sup> 層 |
| 12: n型AlGaIn <sup>+</sup> バッファ層         | 19: p型GaIn光ガイド層                  |
| 13: n型GaIn中間層                           | 20: p型AlGaInGaAsN <sup>+</sup> 層 |
| 14: n型AlGaInGaAsN <sup>+</sup> クラッド層    | 21: p型GaInコンタクト層                 |
| 15: フォトリソグラフィGaIn光ガイド層                  | 22: Ni電極                         |
| 16: MQW活性層                              | 23: Ni電極                         |
| 17: フォトリソグラフィInGaInGaAsN <sup>+</sup> 層 |                                  |

【図3】

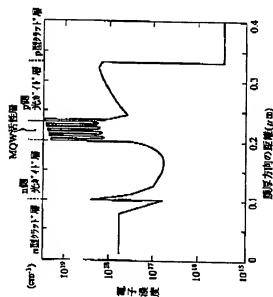
本発明の第2の実施の形態のMQW半導体レーザの斜視図



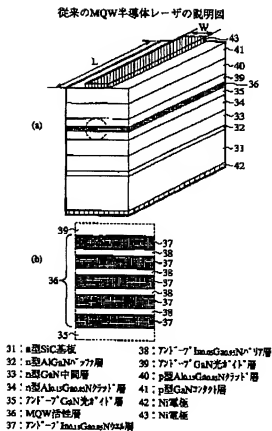
- |  |
|--|
| 11: n型SiC基板                                |
| 12: n型AlGaIn <sup>+</sup> バッファ層            |
| 13: n型GaIn中間層                              |
| 14: n型AlGaInGaAsN <sup>+</sup> クラッド層       |
| 15: フォトリソグラフィGaIn光ガイド層                     |
| 16: MQW活性層                                 |
| 19: p型GaIn光ガイド層                            |
| 20: p型AlGaInGaAsN <sup>+</sup> クラッド層       |
| 21: p型GaInコンタクト層                           |
| 22: Ni電極                                   |
| 23: Ni電極                                   |
| 24: p型AlGaInGaAsN <sup>+</sup> エレクトロンブロック層 |

【図6】

従来のMQW半導体レーザの発振時の電子密度分布の説明図

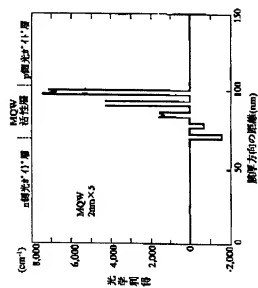


【図4】



【図7】

従来のMQW半導体レーザーの  
多重量子井戸中の光利用分布の説明図



【図8】

従来のMQW半導体レーザーの  
光出力-電流特性の説明図

